

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication :

(A n'utiliser que pour les  
commandés de reproduction).

**2 422 929**

RECEIVED

JAN 24 2005

IPO  
GENERAL ELECTRIC CO.

A1

**DEMANDE  
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

**N° 78 10971**

(54)

Procédé et appareil de détection et de mesure de dépôt.

(51)

Classification internationale (Int. Cl.<sup>2</sup>).

G 01 B 7/06; F 28 F 19/00; G 01 N 25/18.

(22)

Date de dépôt .....

13 avril 1978, à 15 h 53 mn.

(30) (32) (31)

Priorité revendiquée :

(41)

Date de la mise à la disposition du  
public de la demande .....

B.O.P.I. - «Listes» n. 45 du 9-11-1979.

(71)

Déposant : Société dite : ROHRBACK CORPORATION, résidant aux Etats-Unis d'Amérique.

(72)

Invention de :

(73)

Titulaire : *Idem* (71)

(74)

Mandataire : Cabinet Beau de Loménie, 55, rue d'Amsterdam, 75008 Paris.

La présente invention se rapporte à la détection, à la mesure et au contrôle de la formation de précipités adhérent, comme du tartre, de la paraffine, de la cire, etc., sur différentes surfaces.

5 Le besoin existe d'un procédé pratique et commercial pour déterminer si un ensemble forme ou non un précipité important de tartre ou autre, pour déterminer les conditions dans lesquelles du tartre peut se former et pour déterminer les conditions dans lesquelles cette formation peut être évitée, soit par ad-  
10 dition d'inhibiteurs chimiques, soit par la commande des variables du processus. Il est extrêmement important que le procédé puisse être appliqué avec des instruments du commerce, fonctionnant à tout moment et sans imposer des chimistes entraînés ou des scientifiques. Il est aussi extrêmement important que le  
15 procédé soit suffisamment sensible pour que la tendance d'un ensemble à former du tartre soit détectée sans attendre que le dépôt crée une gêne sensible dans le système contrôlé.

Jusqu'à présent, l'inspection physique des équipements constituait le procédé courant de détermination de la présence et de  
20 l'existence d'un dépôt adhérent ou autre précipité. Un autre procédé courant consistait à mesurer les variations du taux de transfert de chaleur, ou de la vitesse d'écoulement d'un liquide pour maintenir un certain taux de transfert de chaleur. Ces deux procédés courants présentent le grave inconvénient que le mal  
25 qu'il y a lieu d'éviter, par exemple l'abaissement du taux de transfert de chaleur, doit se produire avant que des mesures "préventives" puissent être prises.

Les brevets des Etats-Unis d'Amérique n° 3 848 137 et n° 3 951 161 décrivent des procédés extrêmement sensibles et  
30 précis consistant à utiliser une résistance de contact électrique pour détecter le début de la précipitation d'un dépôt adhérent, par exemple de tartre, de paraffine, etc. Les procédés et les appareils qui sont décrits dans ces brevets sont satisfaisants, efficaces et d'une grande sensibilité mais imposent des pièces  
35 mobiles qui peuvent nuire au bon fonctionnement pendant de longues périodes. De plus, les pièces mobiles ajoutent également à la complexité et au prix.

Le problème posé par certains dispositifs antérieurs résulte du fait que la température mesurée varie avec de nombreux para-

mètres différents du fluide dans lequel la surface d'essai est plongée. Dans certains dispositifs, le débit dans une cellule d'essai est augmenté pour stabiliser sa température à la température du fluide entrant. Avec des écoulements à grande vitesse, la vitesse du fluide elle-même devient plus critique. Ainsi, avec un appareil de grande sensibilité, des variations relativement réduites de l'un quelconque d'un certain nombre de paramètres du fluide peuvent produire une indication de sortie qui varie de zéro à la déviation totale, même avec une légère perturbation seulement d'un paramètre tel que le débit. Des paramètres du fluide qui affectent cette mesure de température comprennent la vitesse de ce fluide, sa viscosité, sa température, sa composition, sa conductibilité thermique, la forme de l'écoulement à la surface, qui peut varier avec la rugosité variable due à l'augmentation d'un dépôt, etc. Par conséquent, dans le cas des mesures antérieures reposant sur le contrôle des variations de transfert de chaleur dues aux variations d'un dépôt, il est nécessaire de maintenir constants tous les paramètres du fluide pendant chaque période de mesure, afin que le fluide produise sur la surface d'essai le même effet de température superficielle pendant une période de mesure et pendant une période de mesure ultérieure. Même dans des conditions de laboratoire, cette identité des caractéristiques du fluide est extrêmement difficile à obtenir. En pratique et en installation, particulièrement lorsqu'un appareil doit être utilisé pour des contrôles à long terme d'un système réel, la fixation de ces caractéristiques du fluide est impossible.

En résumé, les différents procédés connus autres que ceux décrits dans les brevets précités ne peuvent détecter ni mesurer l'accumulation d'un dépôt dans un système réel avant que ce dépôt ne se soit formé jusqu'à un degré suffisant pour produire un dommage notable ; de plus, ces procédés antérieurs ne permettent pas de contrôler un liquide particulier pour déterminer sa tendance au dépôt en une période relativement courte.

L'appareil selon l'invention, qui ne comporte aucune pièce mobile et qui est relativement insensible aux variations de l'environnement fluide, est réalisé facilement avec une simple sonde pouvant être exposée au fluide réel dans un ensemble contrôlé de manière à obtenir une lecture et un enregistrement intermittents

ou continus de la tendance au dépôt, et avec une sensibilité telle qu'il indique la présence d'un dépôt gênant avant que l'ensemble contrôlé soit endommagé par ce dépôt.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention seront  
5 mieux compris à la lecture de la description qui va suivre de plusieurs exemples de réalisation et en se référant aux dessins annexés sur lesquels :

La fig. 1 est un schéma simplifié d'un pont thermique réalisé selon l'invention,

10 La fig. 2 est une coupe d'une sonde selon l'invention,

La fig. 3 est une vue en perspective éclatée avec des parties coupées illustrant les éléments de la sonde de la fig. 2,

La fig. 4 est une coupe suivant la ligne 4-4 de la fig. 2,

La fig. 5 est une coupe longitudinale partielle à grande échelle de la sonde de la fig. 2,  
15

La fig. 6 est un schéma des circuits électriques utilisés avec la sonde des fig. 2 à 5,

La fig. 7 est un schéma d'autres circuits électriques qui peuvent être utilisés avec la sonde des fig. 2 à 5,

20 La fig. 8 représente une autre variante de circuits électriques pouvant être utilisés avec la sonde des fig. 2 à 5, et

La fig. 9 illustre une application d'une sonde sensible au tartre dans un exemple de circuit à fluide.

L'invention tire profit de l'utilisation d'un nouveau pont  
25 thermique permettant de détecter ou de mesurer un dépôt au moyen des caractéristiques de transfert de chaleur.

Selon une caractéristique de l'invention, les caractéristiques de transfert de chaleur d'une surface recouverte d'un dépôt sont facilement détectées ou mesurées sans qu'il soit nécessaire de déterminer avec précision l'environnement du fluide.  
30

L'invention concerne donc une nouvelle forme d'un pont thermique dans lequel un flux de chaleur circule dans des premier et second trajets, à travers des première et seconde surfaces, vers des premier et seconds environnements de fluide. Ces deux environnements sont maintenus dans une relation fixe de caractéristiques de transfert de chaleur. Cette relation fixe est obtenue plus facilement en utilisant des environnements identiques. Plutôt que de mesurer simplement la température à une simple surface, suivant un seul trajet de la chaleur, il s'agit d'observer  
35

la différence de température entre des positions similaires dans chacun des trajets pour comparer ou mesurer différentiellement la chute de température dans les premier et second trajets et les premier et second environnements. Les différences de résistivité thermique entre les deux trajets, dues à des différences de dépôt par exemple, sont indiquées facilement par cette comparaison.

Pour l'utilisation de ce pont thermique, il n'est pas nécessaire de maintenir d'une mesure à la suivante les mêmes paramètres du fluide, ou une relation connue entre eux. Il est seulement nécessaire de maintenir les mêmes paramètres relatifs des deux environnements de fluide à l'instant de la mesure. Dans certaines plages, ces paramètres peuvent varier d'une mesure à l'autre sans affecter sérieusement la détection ou la mesure.

Un pont thermique selon cette caractéristique de l'invention est illustré fonctionnellement sur la fig. 1 qui montre une source de chaleur 18 produisant un flux de chaleur qui circule par des premier et second trajets 20, 22 comportant chacun une surface en contact avec l'un correspondant de deux environnements de fluide 24, 26 qui dissipe la chaleur dans un dissipateur thermique désigné schématiquement en 28. Selon cette représentation schématique, le dissipateur thermique peut être en fait le fluide lui-même qui circule continuellement sur les surfaces pendant la mesure. Les trajets thermiques 20 et 22 comprennent des parties de premier et second éléments de mesure de dépôt (éléments d'essai et de référence) entre l'environnement de fluide 24 ou 26, en contact avec lui, et des points 30 et 32 dans les éléments de mesure. Des dispositifs de détection de température sont placés aux points 30 et 32. Des parties des éléments de mesure de dépôt entre les points 30 et 32 et la source de chaleur 18 peuvent être traitées comme une partie de la source de chaleur dans le cadre de la présente description.

Le flux de chaleur provenant de la source 18 peut circuler dans les trajets 20 et 22, dans une relation prédéterminée pour certains buts, par exemple pour la compensation de la dissymétrie des trajets, comme cela sera expliqué par la suite. Mais, dans le cadre de la présente description, il sera supposé que les flux de chaleur circulent avec des intensités égales dans les trajets 20 et 22 à partir d'une source constante 18 et, par conséquent, la chute de température relative dans les deux trajets

est due aux résistances thermiques relatives.

Il sera également supposé dans le cadre de la présente description qu'il n'existe aucune conduction thermique entre les deux trajets. La résistance thermique autre que celle du premier trajet 20 et de l'environnement 24 peut être négligée dans une  
5 branche du pont. D'une manière similaire, la résistance thermique autre que celle du second trajet 22 et du second environnement 26 peut être négligée dans la seconde branche du pont.

Dans le pont de la fig. 1, dans la mesure où les premier et  
10 second environnements de fluide 24 et 26 possèdent des caractéristiques de transfert de chaleur dans une relation fixe entre elles (ou dans un cas particulier si les résistances thermiques des deux environnements sont identiques), la manière dont varient ces caractéristiques n'a aucune importance, pourvu qu'elles varient de la même manière. Autrement dit, il suffit pour  
15 l'utilisation de ce pont thermique que les caractéristiques relatives de transfert thermique des deux environnements restent constantes d'une mesure à la suivante, alors que ces caractéristiques peuvent varier. Cette condition est relativement facile à  
20 obtenir, particulièrement dans deux parties voisines du même circuit de fluide.

Si les caractéristiques relatives de transfert thermique des deux environnements 24 et 26 sont constantes, la différence de température entre les points 30 et 32 est une indication précise  
25 de la chute de température dans le trajet 22 par rapport à la chute de température dans le trajet 20. Si les deux trajets présentent la même résistance thermique, ou la même conductibilité thermique spécifique (c'est-à-dire le même coefficient de conduction thermique), la différence de température entre les points  
30 30 et 32 indiquée par l'appareil de mesure 34 est nulle (en supposant des flux de chaleur égaux dans les deux trajets 20, 22 depuis la source 18). Au contraire, s'il existe une différence de résistivité thermique entre les deux trajets 20 et 22, due par exemple à une différence de dépôt (une surface étant plus entar-  
35 trée que l'autre), il existe avec des flux égaux de chaleur à l'entrée, une différence de chute de température entre les deux trajets. Cette différence dépend de la différence entre les résistivités thermiques des deux trajets qui, à son tour, dépend de la différence de dépôt entre les deux. Cette différence appa-

raît sur un appareil de mesure 34 qui indique la différence de température  $\Delta T$  entre les points 30 et 32.

Cette différence est indépendante des variations d'environnement du fluide, en supposant une symétrie des surfaces et un appareillage idéal. Mais, pour des sensibilités très élevées, les dissymétries et les erreurs de mesure peuvent entraîner des changements d'environnement qui affectent la mesure. Des procédés et des circuits destinés à compenser ces effets et augmenter ainsi la sensibilité seront décrits ci-après.

Le pont thermique décrit ci-dessus peut être utilisé sur différentes formes pour la mise en oeuvre de l'invention. En général, un élément d'essai qui constitue un trajet de chaleur analogue au trajet 20 de la fig. 1 par exemple comporte une surface plongée dans un fluide dont la tendance au dépôt doit être déterminée. Cette surface peut rester plongée dans le fluide pendant le temps et dans les conditions qu'il faut pour qu'un dépôt puisse s'y former jusqu'à un certain degré. Ensuite, le pont est utilisé pour mesurer ou détecter le dépôt que la surface a éventuellement reçu. Pour cette mesure ou cette détection, la surface d'essai et une surface d'un second élément, qui peut être considéré comme un élément de référence et qui est analogue au trajet 22, sont plongées dans des environnements fluides identiques, ou des environnements possédant des caractéristiques relatives connues de transfert de chaleur. La surface de référence ne porte aucun dépôt au moment de la mesure. Les éléments d'essai et de référence sont dans une relation donnée de caractéristiques de transfert de chaleur, par exemple l'identité ou presque, avant que la surface d'essai soit exposée à l'environnement produisant éventuellement un dépôt. Pendant qu'elles sont immergées, les deux surfaces sont chauffées par la source 18 en vue d'une mesure. Les transferts de chaleur par les trajets 20 et 22, ou plus particulièrement par le contact entre la surface d'essai et son environnement fluide d'une part, et entre la surface de référence et son environnement fluide d'autre part, sont comparés. Cette comparaison donne l'indication voulue sur le dépôt à la surface d'essai.

Ce procédé, sans aucune opération supplémentaire, permet de détecter et de mesurer le dépôt sur la surface d'essai, comparativement à la surface de référence. Pour la détection ou la

mesure, le pont thermique est d'abord réglé, de préférence avec les deux surfaces d'essai et de référence dans les mêmes conditions (par exemple à l'état propre ou sans dépôt), de manière que, dans ces conditions identiques, l'appareil de mesure 34  
5 donne une première indication connue, par exemple zéro. Après une période de dépôt pendant laquelle la surface d'essai est exposée à des conditions produisant éventuellement un dépôt, tandis que la surface de référence n'est pas exposée, ou l'est à un moindre degré, ou est nettoyée, ou encore est protégée du dépôt,  
10 pôt, la mesure différentielle est répétée et la différence indiquée par l'appareil de mesure 34 est observée. La différence entre l'indication donnée par l'appareil de mesure 34 pendant cette période de mesure et son indication pendant la période initiale indique la variation de caractéristiques de transfert thermique de la surface d'essai après le moment où le pont a été réglé initialement. Cette indication est une mesure du dépôt.

La période de mesure peut aller de 5 à 15 minutes, sa durée devant être suffisante pour permettre au circuit de se stabiliser, thermiquement et électriquement, quand l'entrée de chaleur passe  
20 d'un état à un autre. Une période de dépôt courant, c'est-à-dire le temps qui s'écoule entre deux périodes de mesure successives, peut être de l'ordre de 1 à 4 heures. Le passage cyclique entre les périodes de mesure et les périodes de dépôt se poursuit aussi longtemps que l'observation du circuit est désirée.

25 Les procédés et les appareils décrits peuvent être utilisés pour déterminer rapidement les conditions dans lesquelles un dépôt adhérent est formé. Il suffit simplement de choisir une condition donnée pendant la période de formation d'un dépôt et de mesurer les effets de ce dépôt pendant une période de mesure  
30 qui suit. Par exemple, en déterminant la chaleur appliquée à la surface d'essai ou sa température, la composition ou la viscosité du fluide contrôlé pendant la période de dépôt, les effets de formation de dépôt de ces conditions spécifiques peuvent être étudiés individuellement.

35 Il est évident que les principes de l'invention peuvent être appliqués par de nombreux appareils et de nombreux circuits différents remplissant tous les fonctions du pont thermique décrit ci-dessus. Une grande variété de sources de chaleur peuvent convenir, y compris différentes dispositions de radiateurs intérieurs



ou extérieurs séparés, électriques ou à fluide, par exemple à vapeur, ainsi que le chauffage direct par résistance. Une grande variété de dispositifs de détection de température peuvent aussi être utilisés, y compris différents détecteurs indépendants  
5 des dispositifs de chauffage, par exemple des thermistances, des thermocouples, etc.

De nombreux procédés permettant d'obtenir un dépôt différentiel sur les surfaces d'essai et de référence peuvent convenir. Les brevets des Etats-Unis d'Amérique n° 3 848 187 et  
10 n° 3 951 161 précités décrivent un certain nombre de ces procédés d'accentuation de la tendance au dépôt, permettant d'augmenter substantiellement la vitesse de dépôt ou de dépôt potentiel, afin d'augmenter efficacement la sensibilité de la mesure. Ces procédés peuvent être appliqués facilement pour produire dif-  
15 férentiellement des dépôts sur la surface d'essai et la surface de référence, produisant ainsi un dépôt plus important ou une plus grande probabilité de dépôt sur la surface d'essai que sur la surface de référence. Les procédés de dépôt différentiel comprennent la protection physique de la surface de référence  
20 alors que la surface d'essai est exposée aux conditions de dépôt. Ainsi, la surface de référence peut être séparée de la surface d'essai et être sortie de l'environnement fluide pendant la période de dépôt. La surface de référence peut être exposée aux conditions de dépôt tandis que la surface d'essai est nettoyée  
25 avant une mesure ultérieure, après la période de dépôt. La surface de référence peut recevoir un revêtement protecteur. Des inhibiteurs chimiques peuvent être utilisés, avec leur effet limité à une zone immédiatement voisine de la surface de référence. Dans le cas des circuits de fluide dans lesquels le dépôt est  
30 accentué aux températures les plus basses, des dispositifs de refroidissement peuvent être utilisés pour abaisser la température de la surface d'essai au-dessous de celle de l'environnement fluide tout en maintenant une température plus élevée de la surface de référence, ou en protégeant de toute autre manière  
35 cette dernière contre le dépôt.

Un autre procédé encore pour obtenir un dépôt différentiel consiste à appliquer la même puissance thermique aux surfaces de référence et d'essai pendant le dépôt, mais en utilisant une plus basse température du fluide autour de la surface de réf-

rence. Ensuite, pendant la période de mesure, le débit du fluide est augmenté, ou d'autres dispositions sont prises pour égaliser l'environnement sur les surfaces de référence et d'essai.

- 5 Différents dispositifs de chauffage différentiel des surfaces de référence et d'essai peuvent convenir pour obtenir un dépôt différentiel sur ces surfaces pendant la période de dépôt. Les surfaces d'essai et de référence peuvent être chauffées, mais avec une entrée de chaleur à la surface d'essai plusieurs  
10 fois supérieure à l'entrée de chaleur sur la surface de référence.

- La réalisation et la configuration de la sonde d'essai peuvent varier largement sans sortir du cadre de l'invention. En plus des différents dispositifs de chauffage et de détection de température, les sondes peuvent être réalisées de manière à permet-  
15 tre que le fluide contrôlé circule intérieurement ou extérieurement. La dernière configuration est choisie pour décrire d'autres aspects de l'invention. La sonde à surface extérieure est préférable car son examen est plus commode et elle est plus facile à nettoyer mécaniquement.

- 20 La fig. 2 représente un mode de réalisation de l'invention qui convient particulièrement pour certains types de circuits d'eau, par exemple des dispositifs de refroidissement par l'eau, bien qu'il puisse convenir également à d'autres types de circuits. La sonde de la fig. 2 est adaptée particulièrement à dif-  
25 férents circuits de réglage et de compensation, qui seront décrits par la suite, permettant à cet appareil de fournir des mesures quantitatives avec une sensibilité et une précision excessivement élevées.

- Les fig. 2, 3, 4 et 5 montrent une gaine 64 constituée par  
30 un tube allongé à paroi mince, en matière bonne conductrice de la chaleur, par exemple en acier inoxydable, de forme aérodynamique avec une extrémité amont 66 qui réduit au minimum les perturbations apportées à l'écoulement, et avec une longueur suffisante pour écarter axialement les radiateurs d'essai et de  
35 référence et les détecteurs de température correspondants. Une région annulaire de la gaine 64, désignée par 68, est utilisée comme surface de référence, et une région annulaire similaire, désignée par 70, espacée axialement et en aval de la région 68, est utilisée comme surface d'essai. La gaine 64 contient, en

position fixe, une cartouche de radiateur électrique qui peut être du type décrit dans le brevet des Etats-Unis d'Amérique n° 2 831 951, et comprenant des enroulements de fils résistances 72, 74, alimentés indépendants, espacés l'un de l'autre, et  
5 montés dans un tube métallique cylindrique 76. Des conducteurs 78 connectent les enroulements de chauffage à des circuits extérieurs d'alimentation qui seront décrits par la suite.

Pour réaliser le pont thermique illustré par la fig. 1, dans le mode de réalisation des fig. 2, 3, 4 et 5, il y a lieu de mesurer la différence de température entre la surface de référence 68 et la surface d'essai 70. Comme cela a déjà été mentionné, de nombreux types différents de détecteurs de température peuvent convenir. Il est donc possible de fixer des thermocouples, des thermistances ou autres dispositifs sensibles à la température  
15 sur les surfaces d'essai et de référence, à l'intérieur ou à l'extérieur, ou même dans la cartouche de radiateur elle-même, pour effectuer la mesure voulue de différence de température.

Il faut noter que la mesure faite au moyen de ce pont thermique n'impose pas de mesurer une température en un point donné, mais  
20 simplement de mesurer une différence de température. Etant donné qu'il suffit de mesurer une différence de température, il est possible de connecter simplement un fil d'un thermocouple à chacune des surfaces 68 et 70, c'est-à-dire un fil à la surface 68 et un autre à la surface 70, pourvu que ces fils diffèrent thermocouplement de la matière de la gaine conductrice de la sonde. Lorsqu'il apparaît une différence de température entre les surfaces 68 et 70, un gradient de tension est produit thermocouplement le long de la sonde, entre ces deux surfaces. Une différence de tension apparaît donc entre les deux fils qui sont  
25 connectés à la surface d'essai et à la surface de référence, donnant une mesure de cette différence de température.

La connexion de ces fils du thermocouple, dissemblables thermocouplement (par rapport à la gaine de la sonde et non entre eux) à l'extérieur de la gaine de la sonde, ou la connexion  
35 d'autres éléments de détection de température à l'extérieur de cette gaine, n'est pas souhaitable car elle peut perturber la configuration de l'écoulement à l'extérieur de la gaine et compliquer le nettoyage de la sonde. Dans le mode de réalisation décrit en regard des fig. 2, 3, 4 et 5, la mesure de la diffé-

rence de température entre les surfaces d'essai et de référence est faite en connectant les fils thermoélectriques à l'intérieur de la gaine. Cette manière de connecter les fils différents thermoélectriquement assure un bon circuit thermique, un circuit  
5 de faible résistance thermique, entre les radiateurs des surfaces d'essai et de référence et les fils de connexion différents thermoélectriquement.

Dans le but de connecter les fils du thermocouple, des premier et second manchons 80, 82 conducteurs de la chaleur sont montés  
10 sur le tube 76, au-dessus des enroulements de chauffage. Ces manchons sont emmanchés à force sur le tube du radiateur et sont ajustés serrés à l'intérieur de la gaine de la sonde. Ces manchons peuvent être en acier, en cuivre, ou autre matière de bonne conductibilité thermique et de bonnes caractéristiques thermo-  
15 électriques différentes de la matière des fils du thermocouple. Ces derniers sont réalisés en la même matière, par exemple en constantan.

Comme le montrent particulièrement les fig. 3 et 4, chaque manchon comporte plusieurs rainures ou fentes circonférentielles,  
20 espacées dans la direction longitudinale, et qui coopèrent avec la gaine 64 en formant plusieurs passages ou conduits dans la direction longitudinale. Les rainures des manchons 82 sont désignées par 84a, 84b, 84c, 84d, 84e, 84f et des rainures longitudinales similaires 86a, 86b, 86c, 86d, 86e, 86f sont formées  
25 dans le manchon 82. Dans le but de détecter la différence de température entre les surfaces de référence et d'essai de la sonde, les fils thermoélectriques (thermocouple) sont fixés aux manchons. Le manchon 80 reçoit plusieurs fils de thermocouple isolés électriquement, par exemple en constantan, désignés par 92a, 92b,  
30 92c, avec des extrémités non isolées, comme l'extrémité 90, et qui sont fixées sur le manchon en des points espacés le long de sa circonférence. Le manchon 82 comporte un ensemble similaire de fils isolés de thermocouple avec des extrémités dénudées, comme l'extrémité 91, et qui sont fixées sur le manchon suivant  
35 sa circonférence.

Les extrémités des fils sont fixées, par exemple par soudage ou brasage, sur chaque manchon, suivant sa circonférence, de manière à former des points espacés de détection de différence de température le long de la périphérie des surfaces d'essai et

de référence. Ainsi, dans le mode de réalisation représenté, trois jonctions de thermocouple sont prévues sur chaque manchon. Pour chaque manchon, les extrémités des trois fils de thermocouple opposées aux manchons sont connectées électriquement et  
5 thermiquement, de la manière décrite ci-après, de façon à indiquer une différence de température qui est la différence moyenne de température en des points espacés suivant la circonférence des surfaces d'essai et de référence.

Le manchon 82, qui est identique au manchon 80, comporte  
10 trois fils de thermocouple 96a, 96b et 96c, en constantan isolé électriquement, dans l'une sur deux de six fentes, les extrémités dénudées étant repliées autour de la fente circonférentielle 98, et y étant soudées, par exemple en 91 pour le fil 96c.

Dans le but d'améliorer la conduction thermique des manchons,  
15 et des fils thermoélectriques qui lui sont connectés, à partir de la surface extérieure de la gaine, cette dernière comporte plusieurs trous espacés suivant la circonférence, par exemple les trous 100a, 100b et 100c. Selon la disposition décrite, les jonctions de thermocouple pour les surfaces d'essai et de réfé-  
20 rence se trouvent entre la gaine en acier et les fils de constantan, bien que les jonctions mécaniques se trouvent entre les fils et les douilles, qui sont en bon contact thermique avec la gaine, et forment une partie du circuit thermoélectrique. Les trous sont alignés avec des régions des manchons sous-jacents,  
25 décalées par rapport aux rainures. Après l'assemblage, ces trous peuvent être utilisés pour introduire la matière de brasage, pour le soudage du manchon et de la gaine extérieure. En variante, les trous peuvent être supprimés, le produit de brasage étant alors placé dans les rainures avant l'assemblage des manchons et de la gaine. Par la suite, un chauffage fait couler le  
30 produit de brasage dans les espaces entre la gaine et les manchons. S'il est nécessaire ou souhaitable d'améliorer encore le transfert de chaleur entre la surface extérieure de la gaine 64 et la jonction de thermocouple de mesure, la gaine est emboutie  
35 contre les manchons entretoises, en assurant que cet emboutissage soit fait sans perturber les caractéristiques voulues de régularité de la surface extérieure de la gaine. De préférence, l'emboutissage de la gaine se fait avant le brasage.

La cartouche de radiateur avec ces deux enroulements chauffants séparés est fixée sur les deux manchons qui sont emmanchés à force, et ces manchons sont emboutis et/ou sont brasés à l'intérieur de la gaine de manière à former une sonde unitaire fixe et rigide sans aucune pièce mobile. Le radiateur 72 et les jonctions thermoélectriques de la surface de référence sont disposés symétriquement à l'intérieur et suivant la circonférence de la surface annulaire de référence formée par la partie circonferentielle de la gaine désignée par 68. Le radiateur 74 et ses jonctions thermoélectriques associées sont disposés à l'intérieur et suivant la circonférence de la région annulaire 70 de la gaine de la sonde pour former la surface d'essai. Les parties de référence et d'essai de la sonde sont espacées d'une distance suffisante pour être isolées thermiquement. Si cela est nécessaire ou souhaitable, un isolement thermique supplémentaire entre les surfaces d'essai et de référence peut être prévu.

La gaine de la sonde supporte un raccord approprié, par exemple une partie filetée 102 qui coopère avec un raccord taraudé 104 qui est fixé sur un circuit, non représenté sur la fig. 6, contenant le fluide dans lequel la tendance au dépôt doit être mesurée. Bien entendu, il existe de nombreuses autres manières de monter la sonde dans un circuit fluide, les détails de ce montage n'étant pas concernés par l'invention. Un exemple spécifique d'installation de cette sonde dans un circuit 2 de refroidissement sera décrit par la suite.

L'extrémité extérieure de la sonde porte un boîtier 106 qui contient certains éléments électroniques, tels qu'un préamplificateur 108, un connecteur femelle 110 destiné à recevoir les câbles d'alimentation de chauffage et de mesure, et un connecteur femelle 112 destiné à connecter les conducteurs du thermocouple et les conducteurs du préamplificateur aux circuits extérieurs qui seront décrits par la suite.

Il apparaît ainsi que la sonde représentée sur les fig. 2 à 5 contient tous les éléments du pont thermique de la fig. 1, à l'exception près de l'appareil de mesure, du pont et des commutateurs qui sont situés à l'extérieur de la sonde et qui lui sont connectés aux fils de chauffage et de thermocouple. Les trois fils de thermocouple (ou davantage) d'un manchon, par exemple les fils 92a, 92b, 92c, sont connectés ensemble à l'inté-

rieur du boîtier 106 et, d'une manière similaire, les trois  
fils de thermocouple 96a, 96b et 96c (ou davantage) du manchon  
de surface d'essai sont connectés ensemble dans le boîtier 106;  
deux signaux sont ainsi produits individuellement pour la sur-  
5 face d'essai et la surface de référence, chaque signal indiquant  
une moyenne de température en des points espacés suivant la cir-  
conférence des surfaces d'essai et de référence.

La sonde décrite constitue un pont thermique du type repré-  
senté sur la fig. 1. Elle comporte une source de chaleur sous  
10 la forme des enroulements chauffants 72, 74, un premier trajet  
pour la chaleur passant par le manchon 82 et la surface d'essai  
70 de la gaine 74 et un second trajet pour la chaleur passant  
par le manchon 80 et la surface de référence 68 de la gaine. Les  
premier et second circuits sont en contact avec des environne-  
15 ments de fluide identiques ou presque identiques, constitués  
par le passage du même fluide sur et autour de la sonde, dans  
la direction des flèches 116.

Différentes dispositions de circuits pour la sonde des fig. 2  
à 5 sont représentées sur les dessins, illustrant seulement  
20 certaines des différentes fonctions de compensation, de mesure  
et de commande qui sont nécessaires. La fig. 6 représente un  
circuit électrique destiné à la sonde et comprenant une compen-  
sation réglable de dissymétrie thermique. La sonde est repré-  
sentée schématiquement avec sa gaine 64, sa surface de référence  
25 66, sa surface d'essai 70, les radiateurs de référence et d'es-  
sai 72, 74 et les jonctions thermoélectriques d'essai et de  
référence 90 et 91, correspondant aux éléments représentés plus  
particulièrement sur les fig. 2 à 5.

L'alimentation des radiateurs provient d'une source de cou-  
rant électrique, non représentée par l'intermédiaire d'un trans-  
30 formateur 118 dont l'enroulement secondaire 119 est connecté à  
une prise 120 d'une résistance 122 de division de tension dont  
les extrémités sont connectées à des commutateurs jumelés 124,  
126. Les commutateurs 124 et 126 sont connectés par des conduc-  
35 teurs 128 et 130 aux extrémités opposées des radiateurs 72, 74,  
qui sont connectés ensemble et dont le point commun est con-  
necté à l'autre extrémité de l'enroulement secondaire du trans-  
formateur 118. Les conducteurs 128 et 130 provenant des extrémi-  
tés des fils chauffants sont également connectés à deux commu-  
40 tateurs jumelés 132 et 134, connectés eux-mêmes à une prise mo-

bile 136 et à une extrémité 138 de l'enroulement secondaire 139 d'un transformateur 140 dont l'enroulement primaire est connecté à une seconde source de courant électrique, non représentée.

Les trois fils de thermocouple, représentés collectivement  
5 sur la fig. 5 par le fil 96, sont connectés entre eux à la borne 97 dans une pointe de jonction commune 142 isolée thermiquement. De même, les trois fils de thermocouple, désignés collectivement par le conducteur 92 sur la fig. 6, sont connectés entre eux à la borne 99 dans la boîte de jonction 142. Des fils de cuivre  
10 144, 146 relient ces bornes de thermocouple aux entrées d'un amplificateur différentiel 148.

L'amplificateur 148 délivre un signal de sortie proportionnel à la différence entre les deux tensions moyennes produites thermoélectriquement et apparaissant aux deux entrées ; cette  
15 différence peut être représentée par  $\partial_t - \partial_r$ , où  $\partial_t$  est la température de la surface d'essai et  $\partial_r$  est la température à la surface de référence.

Un potentiomètre 150 de réglage de zéro comporte une résistance variable qui est alimentée par des tensions opposées et  
20 dont le signal de sortie est additionné au signal de différence de température provenant de l'amplificateur 148 dans un circuit de sommation à résistance 152, 154 dont le signal de sortie est appliqué à un appareil de mesure approprié, ou autre dispositif d'affichage, d'utilisation ou d'enregistrement 156.

25 Le courant de mesure est fourni aux deux radiateurs 72, 74 par le transformateur 118 et les commutateurs 124, 126, lorsqu'ils sont fermés, et le courant de dépôt qui ne chauffe que la surface d'essai est fourni à l'enroulement de chauffage 74 par le transformateur 140 quand les commutateurs 132 et 134 sont fermés.  
30 L'appareil de mesure 156 indique la différence de température détectée entre les surfaces 68 et 70 pendant une période de mesure.

Certaines dissymétries existent dans un appareil réel car il n'est pas possible en pratique de réaliser une sonde avec une  
35 surface d'essai 68, un manchon 80, une jonction thermoélectrique 90 et un radiateur 72 tous connectés et fonctionnant thermiquement, physiquement et électriquement, exactement de la même manière qu'une seconde surface comme la surface d'essai 70, le manchon 82, la jonction thermoélectrique 91 et le radiateur 74.



Les parties d'essai et de référence de la sonde sont discymétriques malgré les plus grands soins et les plus grands efforts pour tenter de les fabriquer de façon identique et précise. Ces dissymétries entre les parties de référence et d'essai de la sonde  
5 introduisent des variations de lecture sur l'appareil de mesure, différence de température détectée, pendant une mesure et ces variations sont dues à des changements de l'environnement fluide. Mais il est apparu que, si les entrées de chaleur relatives sur les surfaces d'essai et de référence, en conditions propres,  
10 sans dépôt, sont modifiées, il se trouve un point de la relation entre ces entrées de chaleur pour lequel la différence de température mesurée ne présente que peu de variations, ou aucune variation du tout, dans une large plage de variations de l'environnement.

15 Il est apparu que l'appareil décrit peut être étalonné ou réglé pendant une période de mesure initiale, avec les deux surfaces propres et sans dépôt, selon le procédé suivant. Les commutateurs 132, 134 sont ouverts. Les commutateurs 124, 126 sont fermés et la sonde est plongée dans un fluide approprié, qui  
20 n'est pas nécessairement celui dont la tendance au dépôt doit être mesurée. Une position initiale du curseur 120 du diviseur 122 est choisie, et l'environnement fluide est modifié. Pendant ce réglage, l'environnement fluide est plus facilement modifié en changeant la vitesse d'écoulement sur la sonde, bien qu'il  
25 soit également possible de changer d'autres caractéristiques de l'environnement. La vitesse du fluide est modifiée par tout moyen approprié, non représenté, par exemple une vanne de commande réglable. La différence de température apparaissant sur l'appareil de mesure 156 est observée quand l'environnement est changé. Si  
30 la différence de température varie avec l'environnement, pour une position donnée du curseur 120, ce dernier est déplacé pour changer les entrées relatives de chaleur des deux radiateurs, et l'environnement (vitesse du fluide) est à nouveau modifié tout en observant la différence de température mesurée. Il existe  
35 une position de réglage du curseur 120, qui peut être trouvée par des essais successifs, pour laquelle l'indication de l'appareil de mesure 156 ne varie plus ou ne varie que d'une valeur minimale quand l'environnement change. Cette position de réglage du curseur 120 qui donne une relation déterminée des entrées de chaleur

aux deux surfaces est ensuite utilisée dans toutes les mesures faites avec cette sonde particulière. En pratique, ce réglage peut être fait après la fabrication de la sonde, en usine, et le réglage d'entrée relatif de chaleur peut être fixé ou établi  
5 définitivement dans la sonde particulière, comme caractéristique unique pour chaque sonde individuelle. Par exemple, après avoir déterminé les entrées de chaleur relatives des radiateurs pour une sonde donnée, selon le mode opératoire décrit ci-dessus, des résistances fixes peuvent être utilisées dans les circuits de  
10 chauffage pour assurer cette compensation de dissymétrie, et le diviseur variable 122 peut être enlevé.

Après avoir déséquilibré ou réglé les entrées relatives de chaleur, la différence de température peut ne pas être nulle, mais l'appareil de mesure 156 peut être amené à zéro au moyen du  
15 potentiomètre 150 de réglage de zéro pour additionner ou soustraire du signal  $\partial_t - \partial_r$  à la sortie de l'amplificateur différentiel 148, jusqu'à ce que l'appareil de mesure indique zéro. La sonde et son circuit sont ainsi compensés et réglés à zéro à l'état propre ou sans dépôt des deux surfaces. Les commutateurs  
20 124 et 126 sont alors ouverts et, avec la sonde, comprenant ces surfaces d'essai et de référence, plongés dans un fluide dont la tendance au dépôt doit être mesurée, les commutateurs de dépôt 132 et 134 sont fermés pour chauffer la surface d'essai 70 par le radiateur 74 jusqu'à une température déterminée par le réglage  
25 du curseur 136 de l'enroulement secondaire 138 du transformateur 140. La température de la surface d'essai 70 pendant la période de dépôt est choisie de manière qu'elle soit la température à laquelle la tendance au dépôt du fluide doit être contrôlée et mesurée. Si cela est nécessaire ou souhaitable, la température  
30 de la surface d'essai peut être mesurée pendant la période de dépôt par d'autres thermocouples ou thermistances, non représentés sur la fig. 6, comme cela sera décrit par la suite. Pendant la période de dépôt, la surface de référence 68 reste au voisinage de la température du fluide ambiant qui passe sur la  
35 sonde et, par conséquent, elle ne reçoit pas de dépôt pendant cette période ou, si elle en reçoit un, elle le reçoit à un degré beaucoup moindre. Bien entendu, d'autres procédés de dépôt différentiel peuvent être utilisés comme cela sera décrit par la suite.

Après la période de dépôt, qui peut durer d'une à quatre heures par exemple, les commutateurs 132 et 134 sont ouverts et les commutateurs 124 et 126 sont à nouveau fermés pour appliquer la chaleur de mesure réglée. Aucun autre réglage n'est fait à ce moment. L'indication de l'appareil de mesure 156 est notée quand la sonde et son circuit sont stabilisés thermiquement. Cette période de stabilisation est nécessaire, au moins en partie parce que les entrées de chaleur aux surfaces d'essai et de référence ont été changées. L'indication de l'appareil de mesure, par rapport à l'indication qu'il avait donnée pendant la période de mesure initiale, et qui a été réglée à zéro par le potentiomètre 150, est une mesure des caractéristiques de transfert de chaleur de la surface d'essai 70 par rapport aux caractéristiques de transfert de chaleur de la surface de référence 68. La lecture est indépendante des environnements de fluide qui sont identiques sur les deux surfaces et donne une mesure du dépôt accumulé sur la surface d'essai 70 pendant la période de dépôt, d'une manière indépendante de la dissymétrie de la sonde.

Le circuit représenté sur la fig. 6, lorsqu'il est utilisé avec la sonde des fig. 2 à 5, constitue un appareil de haute sensibilité et de bonne fiabilité, avec une compensation pour certaines dissymétries de la sonde. Néanmoins, il est apparu qu'une compensation supplémentaire du zéro d'une sonde de haute sensibilité pouvait encore améliorer cette sensibilité. Même avec le réglage décrit ci-dessus des entrées relatives de chaleur, les variations de l'environnement de fluide d'une sonde de très grande sensibilité peuvent encore provoquer des fluctuations de la lecture de l'appareil 156. Ainsi, la sonde qui a été décrite ci-dessus, bien que nettement meilleure et plus sensible que les dispositifs antérieurs, présente encore une sensibilité indésirable aux variations d'environnement lorsqu'elle est utilisée pour effectuer des mesures de haute précision et de grande sensibilité. Il est bien entendu que la forte sensibilité au dépôt est souhaitable dans les procédés et les appareils décrits, car les chances de prendre une action corrective avant que des dommages ne se produisent sont d'autant plus grandes que la détection du dépôt est plus précoce et que la plus petite quantité de dépôt peut être détectée.

Une compensation supplémentaire de ces variations produites par l'environnement de fluide peut être obtenue dans une certaine mesure, de la manière illustrée par la fig. 7. Selon cette disposition, une compensation est assurée par un signal représentant la différence de température entre la surface de référence et une troisième surface chauffée différemment, ou une surface non chauffée ou chauffée indirectement. La fig. 7 montre une sonde similaire à celle des fig. 2 à 5. La gaine 160 comporte une surface de référence 162, une surface d'essai 164, une jonction 166 thermoélectrique de détection de température de référence, de constantan et d'acier, une jonction 168 de détection de température d'essai, de constantan et d'acier, et des radiateurs de référence et d'essai 170, 172, tous connectés et fonctionnant avec des éléments comparables à ceux décrits en regard des fig. 2 à 5. Mais cette sonde comporte une jonction thermoélectrique supplémentaire 174 dans une région 176 moins chauffée, ou chauffée indirectement, de la gaine 160 de la sonde, en amont des surfaces d'essai et de référence. Le fonctionnement et la commande des radiateurs 170, 172 de cette sonde sont les mêmes que pour la sonde des fig. 2 à 5 et pour le circuit de la fig. 6, et ils ne seront par conséquent pas décrits. Les jonctions 166, 168 de surfaces de référence et d'essai sont connectées à un amplificateur différentiel 180 dont la sortie  $\partial_t - \partial_r$  est combinée dans un circuit de sommation résistif 182 avec un décalage variable sélectivement produit par un potentiomètre 184, comme dans le circuit déjà décrit.

Mais, selon la disposition de la fig. 7, la région amont 176 de la gaine de la sonde, qui sera appelée ci-après région d'environnement de fluide, se trouve à une température, par rapport à la température de la surface de référence, qui est détectée par une jonction thermoélectrique 174. Les fils provenant des jonctions 166 de surface de référence et 174 sont reliés aux entrées d'un second amplificateur différentiel 186. Ainsi,  $\partial_r$  désigne la température à la surface de référence et  $\partial_a$  désigne la température détectée à la surface 176 d'environnement de fluide, qui est une température différente de celle de la surface de référence car elle n'est chauffée qu'indirectement, tandis que la surface de référence est chauffée directement. Par conséquent, la sortie de l'amplificateur 186 indique la différence entre ces

deux surfaces chauffées différemment, ou  $\partial_r - \partial_a$ , et qui peut être considérée comme un signal d'environnement de fluide. Ce signal d'environnement de fluide est utilisé pour la compensation.

- 5 Le signal d'environnement de fluide est appliqué à un amplificateur inverseur 188. Les sorties de polarités opposées des amplificateurs 186 et 188 sont reliées aux extrémités opposées d'un diviseur à résistance 190 comportant un curseur mobile 192. Le curseur 192 est connecté de manière à appliquer un signal
- 10 d'entrée à un circuit de sommation à résistance 193 dont la seconde entrée est alimentée par un potentiomètre de décalage 194 qui délivre une tension de valeur et de polarité variables sélectivement, à partir d'une résistance 195 dont les extrémités sont connectées à des sources de tension positive et négative. Le signal
- 15 de sortie du circuit de sommation 193 est combiné avec le signal de sortie du circuit de sommation 182 dans un troisième circuit de sommation 196 dont la sortie est appliquée à un appareil de mesure 197 qui donne une lecture compensée de la différence de température entre les surfaces d'essai et de référence.
- 20 Le réglage du curseur 192 pour la compensation d'environnement de fluide est déterminé empiriquement, dans des conditions de surfaces propres et sans dépôt. Avec le courant de mesure appliqué aux radiateurs et avec la sonde plongée dans un fluide qui n'est pas nécessairement le même mais qui est de pré-
- 25 fférence similaire au fluide à contrôler, la vitesse de circulation de ce fluide est diminuée nettement par rapport à sa vitesse de mesure normale, relativement constante. Par exemple, il est possible de mesurer avec la sonde d'essai décrite, des fluides à des vitesses de l'ordre de 100 cm par seconde. Cette vi-
- 30 tesse est réduite de moitié pour la détermination empirique et le changement d'indication de l'appareil de mesure est noté, s'il existe. Ensuite, la vitesse est ramenée à sa valeur normale et le curseur 192 est déplacé d'une manière ou une autre. La vitesse est à nouveau diminuée dans la même mesure que précédemment,
- 35 jusqu'à 50 cm par seconde, par exemple, et la variation d'indication de l'appareil de mesure due à cette chute de vitesse dans la nouvelle position du curseur 192 est notée. Si cette variation est supérieure à la précédente, le curseur 192 est déplacé dans l'autre sens. Si elle est inférieure, mais encore importante, le

curseur 192 est déplacé à nouveau, mais dans le même sens. Une fois encore, la vitesse est ramenée à sa condition de mesure, l'indication de l'appareil de mesure est notée, le curseur 192 est déplacé dans un sens ou dans l'autre, comme cela a été indiqué ci-dessus, et la vitesse est à nouveau réduite. Une fois encore le changement d'indication de l'appareil de mesure est noté et ce changement est comparé avec le précédent. Ce mode opératoire est répété jusqu'au moment où un point de réglage du curseur 192 est trouvé pour lequel une variation importante de vitesse du fluide ne provoque que peu de variations de l'indication de l'appareil de mesure, ou pas du tout. La sonde est alors compensée pour les effets de variations de vitesse du fluide et la position du curseur 192 est fixée, de manière à rester constante pendant les mesures qui suivent. Si cela est nécessaire, la nouvelle position de l'appareil de mesure avec le réglage empirique du curseur 192 est ramenée à zéro en appliquant au circuit de sommation 193 un signal de réglage provenant du potentiomètre 194 ; le potentiomètre 184 peut être utilisé à cet effet, le potentiomètre 194 étant alors supprimé.

Pour le réglage empirique du curseur du diviseur résistif 192, l'environnement de fluide est modifié et le curseur 192 est réglé jusqu'à ce que l'appareil de mesure donne une indication qui ne varie pas quand l'environnement fluide varie. En fait, la détermination empirique est faite en changeant une caractéristique de transfert de chaleur de l'environnement. Mais, comme cela a été indiqué ci-dessus, l'une de ces caractéristiques la plus facile à modifier est la vitesse d'écoulement. C'est donc cette caractéristique spécifique de vitesse qui est modifiée pour la détermination empirique, bien que cette détermination puisse se faire en changeant toute autre caractéristique d'environnement qui modifie les caractéristiques de transfert de chaleur du fluide.

Le pont thermique décrit ci-dessus offre une très grande sensibilité qui est en outre améliorée par les différents circuits destinés à compenser les effets nuisibles de l'environnement de fluide. Le fonctionnement du pont est également amélioré en utilisant des circuits électriques de précision et des sources d'alimentation soigneusement régulée qui éliminent toutes les autres sources d'erreurs. Néanmoins, un autre perfectionnement

peut encore être apporté par un contrôle et une stabilisation en boucle fermée de l'environnement. Ainsi, et comme le montre la fig. 7, le signal d'environnement  $\partial_r - \partial_a$  apparaissant à la sortie de l'amplificateur 136 pendant une période de mesure

5 peut être appliqué à un amplificateur différentiel 198 dont la seconde entrée reçoit une tension réglable provenant d'un potentiomètre 199 dont les extrémités opposées sont alimentées par des tensions de polarités différentes. L'amplificateur 198 délivre un signal de réaction indiquant l'environnement de fluide

10 détecté ( $\partial_r - \partial_a$ ) pour commander un dispositif 200 de réglage d'environnement qui commande une vanne 201 qui est ouverte plus ou moins pour augmenter ou diminuer la vitesse du fluide en fonction des variations détectées de l'environnement. Bien entendu, la nature de la commande de l'environnement peut se faire

15 de nombreuses manières différentes. Ainsi, plutôt que de régler la vitesse en fonction de la sortie de l'amplificateur 198, il est possible de régler facilement la viscosité la température ou autre paramètre intervenant dans les caractéristiques de transfert de chaleur, en fonction de la différence de température

20 détectée entre la surface de référence chauffée 162 et la surface non chauffée 176 pendant la période de mesure.

Les circuits décrits ci-dessus pour la compensation et le réglage compensent la dissymétrie de la sonde et compensent également le réglage de zéro en fonction des variations d'environnement avec une surface de sonde propre, afin d'obtenir une plus

25 grande sensibilité de mesure et une plus grande insensibilité aux variations d'environnement, mais il est apparu que, à l'état de dépôt, avec la surface d'essai portant un dépôt suffisant pour donner une indication de l'ordre de la moitié de la déviation

30 totale, la lecture sur l'appareil de mesure est encore sujette à des fluctuations quand l'environnement varie, même si le dépôt ne varie pas. Ainsi, pour des sensibilités très élevées, une variation de l'environnement pendant une mesure peut provoquer un changement de différence de température détectée, indiqué

35 sur l'appareil de mesure, avec la sonde portant un dépôt ou un dépôt partiel. Une compensation peut être faite de cet effet de l'environnement. L'effet de la variation d'environnement sur une surface portant un dépôt peut être réduit au minimum, en utilisant le circuit représenté sur la fig. 8. Cette figure montre

la même sonde que celle précédemment décrite, avec certaines modifications des circuits de chauffage et de mesure. Cette figure représente les formes précédemment décrites de compensation d'environnement au zéro, en utilisant les entrées relatives de chaleur et la détection d'environnement, ainsi que des circuits de compensation d'une sonde portant un dépôt, sur la base du produit de l'indication de dépôt ( $\partial_t - \partial_r$ ) et d'une indication représentant l'environnement ( $\partial_r - \partial_a$ ).

Selon la disposition illustrée par la fig. 8, le fluide s'écoule comme l'indique la flèche 203 sur une sonde d'acier inoxydable 202 comportant une surface d'essai 204, une surface de référence 206 et une surface d'environnement 208 située en amont. Des jonctions thermoélectriques 210 et 212 sont prévues sur des manchons voisins des surfaces d'essai et de référence. Des radiateurs 214 et 216 de surfaces d'essai et de référence sont disposés près des surfaces correspondantes. Une troisième jonction thermoélectrique 215 entre un fil de constantan et un fil d'acier est disposée à la surface 208 d'environnement de fluide et une jonction de thermocouple 217 à deux fils de chrome et d'aluminium 208a, 208b est montée près de la surface 206 pour donner une mesure absolue de température. Les fils de constantan 220 et 221 des jonctions 210 et 212 sont connectés dans une boîte de jonction 222 isolée thermiquement avec des conducteurs électriques, par exemple des fils de cuivre 223, 224 qui sont reliés aux entrées d'un amplificateur différentiel 226; la sortie de ce dernier délivre le signal  $\partial_t - \partial_r$  proportionnel à la différence de température entre les surfaces d'essai et de référence. Un conducteur 221 connecté à la jonction thermoélectrique 212 et un conducteur 227 provenant de la jonction thermoélectrique 215 sont connectés, dans la boîte de jonction 222, avec des fils de cuivre 224, 228 qui sont reliés aux entrées d'un second amplificateur différentiel 229 dont la sortie indique la différence entre les températures aux jonctions 212 et 215, désignée par  $\partial_r - \partial_a$ . La température absolue à la jonction 217 est transmise, par les fils de thermocouple 218a, 218b et la boîte de jonction 222, à des fils de cuivre 232, 233 aboutissant à la première et la seconde entrée d'un amplificateur 234. Le signal de sortie de ce dernier est additionné dans un circuit de sommation 235 avec la sortie d'un amplifi-



5 cateur 236 qui reçoit à ses entrées les conducteurs 237, 238 provenant d'une thermistance de référence 240 destinée à mesurer la température de la boîte de jonction 222 dans laquelle tous les fils de thermocouple sont connectés avec des fils de cuivre classiques.

Le circuit de sommation 235 délivre un signal proportionnel à la température absolue à la surface 208 d'environnement de fluide, et qui est combiné dans un circuit de sommation 244 avec le signal de sortie  $\partial_t - \partial_r$  de l'amplificateur 226 et le signal  
10 de sortie  $\partial_r - \partial_a$  de l'amplificateur 229, qui sont appliqués au circuit 244 par des conducteurs, non représentés. Le circuit de sommation 244 délivre un signal  $\partial_T$  qui représente la température absolue de la surface d'essai 204. Cette température de la surface 204 est la somme de la température à la surface 208  
15 et des deux différences de température entre les surfaces 208 et 206 et les surfaces 206 et 204. Le signal provenant du circuit de sommation 244 est comparé dans un moniteur de température de surface d'essai 246 avec une température prédéterminée qui est réglée dans ce moniteur 246 au moyen d'un bouton de commande 248. Le moniteur 246 reçoit un courant électrique des conducteurs 250, 251 et il délivre un signal de sortie par un commutateur 252 de période de dépôt vers le radiateur 214 de surface d'essai. Ainsi, pendant la période de dépôt seulement, l'alimentation du radiateur 214 est commandée dans un circuit en  
20  
25 boucle fermée de manière à être maintenue à la température déterminée par le bouton de commande 248.

Le courant de mesure est appliqué aux deux radiateurs 214 et 216 par des commutateurs jumelés 254, 256 qui sont connectés aux extrémités opposées d'un enroulement 258 excité par un curseur  
30 260 qui, à son tour, est connecté à un curseur 262 d'un enroulement 264 afin d'être alimenté par les conducteurs d'alimentation 250 et 251.

Le curseur 262 est réglé pour obtenir le réglage voulu de chaleur de mesure appliqué pendant la période de mesure. Le curseur 260 est réglé, de la manière et dans le but décrits à propos du curseur 120 de la fig. 6, pour obtenir la relation choisie d'alimentation d'entrée des deux radiateurs et compenser ainsi la dissymétrie de la sonde. Comme cela a été indiqué ci-dessus, le curseur 260 peut être réglé et fixé en usine pendant  
35

la fabrication de la sonde, ou sa fonction peut être remplie par des résistances fixes pour obtenir le réglage voulu des entrées relatives de chaleur.

Pour des mesures de grande précision, une régulation d'une  
5 précision comparable des sources d'alimentation est nécessaire. Mais pour éviter une régulation coûteuse de grande puissance pour le chauffage, les indications de différence de température sont compensées en ce qui concerne les variations de tension. Le signal de différence de température  $\partial_t - \partial_r$  est divisé par  
10 un signal d'alimentation  $W$  proportionnel au carré de la tension de chauffage. Le signal  $W$  est produit par un circuit 270 d'élévation au carré qui reçoit un signal d'entrée provenant du curseur 262 et qui délivre un signal de sortie à un diviseur 272 recevant également le signal de différence de température  
15  $\partial_t - \partial_r$ , et divisant ce dernier par  $W$  pour produire le signal compensé en tension  $S_1$ .

Le signal d'alimentation  $W$  est également appliqué à un second diviseur 274 qui reçoit le signal  $\partial_r - \partial_a$  provenant de  
l'amplificateur 229 et qui divise ce signal par  $W$  pour produire  
20 le signal FE d'environnement de fluide compensé en tension. Si la tension d'entrée varie, l'entrée de chauffage des surfaces de tension et de référence varie également et un facteur supplémentaire est combiné par les diviseurs 272 et 274 avec les signaux de différence de température pour compenser les effets de  
25 ces variations de tension.

Un réglage de zéro à l'état propre pour l'environnement de fluide est prévu de la manière décrite en regard du diviseur de tension 190, 192 de la fig. 7. Ainsi, le signal FE d'environnement de fluide provenant du diviseur 274 est appliqué, par des  
30 conducteurs non représentés, à une extrémité d'une résistance 276, il est inversé dans l'amplificateur 278 et appliqué à l'autre extrémité de la résistance. Le curseur 279 est réglé de la manière décrite en regard du curseur 192 de la fig. 6 pour obtenir une variation minimale de l'indication de l'appareil de  
35 mesure avec les variations de l'environnement. Ainsi, un signal de compensation d'environnement  $k(PE)$  provenant du curseur 279 est additionné au signal  $S_1$  de dépôt compensé en tension dans un circuit de sommation 280 pour produire un signal  $S_2$  de dépôt compensé pour l'environnement.

Un signal de réglage de décalage est produit par un curseur 282 d'une résistance 284 dont les extrémités opposées sont alimentées par des tensions positive et négative. Ce signal de réglage de décalage est additionné au signal  $S_2$  dans le circuit de sommation 286 pour produire un signal de dépôt réglé  $S_3$  qui donne une lecture zéro sur l'appareil de mesure 290.

Pour compenser le signal de dépôt réglé  $S_3$  en ce qui concerne les variations dues à des variations de l'environnement avec la sonde portant un dépôt, le signal d'environnement FE provenant du diviseur 274 est multiplié dans un multiplicateur 292 par le signal de dépôt  $S_3$  de manière à obtenir le signal  $S_3(FE)$  utilisé comme compensation supplémentaire. S'il n'existe aucun dépôt,  $S_3$  est nul, de même que cette compensation. Le signal de sortie du multiplicateur 292 est appliqué directement, et aussi par un amplificateur inverseur 294, aux extrémités opposées d'une résistance 296 comportant un curseur mobile 298. Le signal du curseur 298 est appliqué à un circuit de sommation 300 pour être additionné avec le signal de dépôt  $S_3$  à la sortie du circuit de sommation de décalage 286. Le signal combiné  $S_4$  provenant du circuit de sommation 300 est le signal final appliqué à l'appareil de mesure 290, compensé en ce qui concerne les variations de tension, la dissymétrie de la sonde, les variations d'environnement pouvant affecter la sonde avec un dépôt et les variations d'environnement pouvant affecter la sonde propre.

Le curseur 298 est réglé de façon empirique, d'une manière qui est pratiquement la même que celle du réglage du curseur 192, décrit en regard de la fig. 7, et du curseur 279 de la fig. 8, mais avec la sonde portant un dépôt substantiel. Cette condition de dépôt est équivalente, par exemple à une condition qui donne une indication de la moitié de la déviation totale de l'appareil de mesure. Le curseur 298 est placé initialement dans une position intermédiaire sur la résistance 296, la chaleur normale de mesure est appliquée et la vitesse du fluide dans lequel la sonde est plongée est amenée à une vitesse normale prédéterminée de mesure. Cette vitesse est ensuite diminuée jusqu'à une valeur d'environ la moitié de sa valeur initiale, par exemple, et le changement d'indication de l'appareil de mesure est noté s'il existe. Ensuite, le curseur 298 est amené dans une

position différente, la vitesse est ramenée à sa valeur normale et elle est réduite à nouveau. La variation d'indication de l'appareil de mesure due à ce changement de vitesse est à nouveau notée. Si cette variation est inférieure à la première, le curseur 298 a été déplacé dans le bon sens. Si cette seconde variation est supérieure, le curseur a été déplacé dans le mauvais sens. Ainsi, le curseur 298 est à nouveau déplacé, la vitesse est ramenée à sa valeur normale et elle est réduite, et une troisième variation est notée. Ce réglage empirique du curseur 298 se poursuit jusqu'à ce qu'une position soit trouvée dans laquelle une variation relativement importante de la vitesse du fluide ne produit que peu de changement d'indication de l'appareil de mesure, ou pas du tout. Le curseur 298 se trouve alors dans une position qui compense les indications de l'appareil de mesure avec la sonde portant un dépôt, en ce qui concerne les variations possibles de l'environnement. Cela permet d'obtenir une plus grande insensibilité encore de la sonde aux variations d'environnement.

Il apparaît que les procédés et appareils qui ont été décrits n'imposent aucune mesure de température (à distinguer d'une différence de température) ni de débit mais donnent une meilleure mesure de dépôt avec une sensibilité accrue face à plusieurs caractéristiques et compensations. Premièrement, l'utilisation d'un pont thermique tel qu'il a été décrit apporte un perfectionnement majeur pour l'indépendance à l'environnement de fluide. Deuxièmement, les entrées de chaleur relatives réglées compensent la dissymétrie thermique. Troisièmement, une compensation de l'environnement fluide est prévue pour le réglage de zéro. Quatrièmement, une compensation combinée de dépôt et d'environnement est prévue pour les conditions de dépôt. Cinquièmement, une commande en boucle fermée de l'environnement fluide est prévue. Chacune des caractéristiques de la seconde à la cinquième peut être utilisée seule ou conjointement avec une ou plusieurs des autres pour améliorer le fonctionnement du pont thermique décrit.

Les appareils de mesure peuvent être étalonnés en degrés de différence de température ou, en divisant cette différence de température par la période de mesure, en densité de flux de chaleur, en watts par centimètre carré, l'appareil pouvant aussi

être étalonné en unités de résistivité thermique, en degrés par centimètre carré et par watt.

Comme cela a été mentionné précédemment, les procédés et appareils selon l'invention conviennent à différents types d'installations. Néanmoins, à titre d'exemple, la fig. 9 illustre l'application de la sonde des fig. 2 à 5 à un système particulier de refroidissement par eau, désigné par 340, dont la tendance au dépôt doit être contrôlée. Pour cette application typique de la sonde, de l'eau du circuit de refroidissement est prélevée par une conduite 342 et elle est chauffée en passant par un radiateur 344 qui élève sa température à une valeur à laquelle la tendance au dépôt doit être mesurée. Cette température peut être par exemple la température de l'eau de refroidissement près d'une surface d'éléments d'échange thermique qui sont en contact avec l'eau contrôlée par la sonde et refroidis par elle. C'est généralement sur ces surfaces chaudes d'échange thermique que les dépôts de tartre sont les plus importants. L'eau chauffée passe par une vanne de dérivation 346 et, de là, par une conduite 348, vers une conduite 352. L'eau chaude provenant du circuit de refroidissement circule par la longue conduite rectiligne 352, en passant par un raccord en T 354 dont une branche est connectée à cette conduite. Le raccord comporte une branche de sortie 356 reliée à la sortie d'eau de la conduite 352 vers un réservoir 358 d'où elle peut être éliminée ou remise en circulation s'il y a lieu. L'autre branche du raccord reçoit une sonde, telle que celle représentée sur les fig. 2 à 5, et dont la gaine est introduite par le raccord dans la longue section rectiligne 252 de conduite entre le raccord et la vanne 346. Le boîtier sensible de la sonde (voir également fig. 2) est fixé de façon amovible et se trouve à l'extérieur de l'extrémité libre du raccord. La sonde peut être introduite dans le circuit de fluide et en être sortie grâce à ce raccord.

La vanne 346 est également reliée à une source 360 d'eau fraîche, par exemple d'eau de ville, et elle est mobile entre une première position (de dépôt) dans laquelle elle fait passer l'eau du radiateur 344 vers la conduite 348 tout en interrompant la circulation d'eau fraîche provenant de la source 360, et une seconde position (de mesure) dans laquelle l'eau circule de la source 360 vers la conduite 348, tandis que la circulation provenant du radiateur 344 est interrompue.

- La sonde est introduite dans le raccord avec la vanne 346 en position de mesure pour interrompre l'écoulement depuis le radiateur 344 et produire un courant d'eau relativement froide provenant de la source 360. Les réglages de zéro et de compensation
- 5 de la sonde, qui ont été décrits ci-dessus en regard de la fig. 8, sont effectués pendant une période initiale de mesure avec les deux radiateurs de la sonde alimentés avec une entrée de chaleur déterminée pour obtenir une température superficielle de référence et d'essai supérieure à la température du fluide ambiant.
- 10 Après ce réglage initial pendant la période de mesure, la vanne 346 est amenée en position de dépôt pour interrompre l'écoulement d'eau froide et faire passer l'eau du radiateur 344 sur la sonde. Le radiateur 344 est réglé de manière à produire la température voulue de l'eau contrôlée provenant du circuit de refroidissement, c'est-à-dire la température à laquelle la tendance
- 15 au dépôt doit être mesurée. L'eau chaude passe sur la sonde, qui est maintenant en période de dépôt, et s'écoule dans le réservoir. Pendant la période de dépôt sur la sonde, la chaleur de mesure est supprimée des radiateurs, et seul le radiateur de la surface
- 20 de référence est alimenté, comme cela a été décrit en regard des fig. 6, 7 et 8. Comme cela a été indiqué précédemment, cette période de dépôt peut durer d'une à quelques heures. A la fin de cette période, le circuit de la sonde est placé à l'état de mesure. L'alimentation de chauffage de dépôt est supprimée, l'alimentation de mesure est appliquée aux surfaces de référence et
- 25 d'essai et la vanne 346 est à nouveau manoeuvrée pour interrompre la circulation depuis le circuit de refroidissement et introduire de l'eau fraîche à la température de la source 360 (qui peut être de l'ordre de 15 à 20°C) sur la sonde et dans le réservoir 356.
- 30 Ce passage cyclique entre la condition de dépôt et la condition de mesure, la commutation des circuits de chauffage de la sonde et la commande de la vanne 346 peuvent se faire manuellement. Mais, dans le cas d'opérations à long terme, un dispositif temporisé de commande automatique, non représenté, peut être utilisé
- 35 pour ces fonctions simples et répétitives.

Avec la sonde à nouveau en condition de mesure, une seconde mesure est effectuée et la lecture d'un appareil de mesure ou d'un enregistreur 360, connecté au circuit de la sonde pour afficher ou enregistrer la mesure de dépôt, donne une indication

sur la tendance au dépôt du circuit d'eau de refroidissement. Il faut noter que, dans cette application, la sonde ne se trouve dans le fluide contrôlé (l'eau du circuit de refroidissement 340) que pendant les périodes de dépôt tandis que, pendant les périodes de mesure, un autre fluide comme de l'eau de ville est utilisé. L'eau de ville est plus froide que l'eau chaude provenant du circuit de refroidissement 340 et, par conséquent, un plus grand passage de chaleur aux surfaces d'essai et de référence peut être produit pour augmenter la sensibilité. Le fluide de la période de mesure peut être choisi avec d'autres caractéristiques qui sont souhaitables pour cette période. La plus basse température du fluide pendant la mesure peut être obtenue simplement en désalimentant le radiateur 344, sans utiliser une seconde source de fluide, auquel cas la vanne 346 est supprimée.

Comme cela a été indiqué précédemment, les procédés et appareils décrits mettent en oeuvre des mesures thermiques différentielles pour détecter et contrôler un dépôt, selon un grand nombre de variantes possibles et au moyen d'un grand nombre de configurations différentes de l'appareil. Certains procédés différents de chauffage des surfaces pour effectuer un dépôt différentiel, plusieurs procédés de dépôt différentiels et des procédés et appareils de détection de température et/ou de flux de chaleur ont été décrits. Les procédés et appareils qui ont été décrits sont destinés principalement à détecter, à mesurer et à contrôler des conditions de dépôt ou de dépôt potentiel dans un circuit de fluide. Il faut remarquer qu'une sonde telle que celle des fig. 2 à 5 peut être montée en permanence dans un circuit contrôlé et être associée avec un mécanisme automatique de temporisation et de commande qui fait fonctionner cycliquement et répétitivement l'appareil selon les opérations décrites, de manière que l'appareil passe automatiquement par les cycles de mesure et de dépôt, en enregistrant chaque mesure. Dans un dispositif automatique de ce genre, une mesure peut être faite aussi souvent que toutes les heures ou toutes les deux heures, de sorte qu'un grand nombre de mesures peuvent être faites et leur moyenne permet de mieux déterminer tout changement. Ce changement peut indiquer une variation de tendance au dépôt dans le circuit observé.

Dans de nombreux dispositifs, le dépôt s'accumule lentement et les effets nuisibles peuvent n'apparaître qu'après de longues périodes. Néanmoins, l'invention peut être utilisée pour contrôler efficacement la tendance au dépôt pendant ces longues périodes et permet de détecter, bien avant l'accumulation d'un dépôt gênant, les variations de tendance au dépôt qui peuvent être considérées comme suffisantes pour entreprendre une action corrective. Les changements détectés de tendance au dépôt peuvent être utilisés dans un dispositif de commande qui délivre automatiquement une alarme et qui, en outre, prend des mesures correctives appropriées et suffisamment précoces, par exemple en additionnant automatiquement un inhibiteur dans le circuit.

Dans le but de mieux compenser les variations d'environnement entre les surfaces d'essai et de référence pendant un contrôle, la sonde peut être réalisée avec deux surfaces de référence positionnées symétriquement à des distances axiales égales en amont et en aval de la surface d'essai. Les puissances de chauffage des deux surfaces de référence sont égales et la moyenne est faite de leurs températures mesurées afin de compenser toute dissymétrie axiale possible de l'environnement fluide ainsi qu'un gradient axial possible de température du fluide.

Un type d'application de l'invention est la mesure d'accumulation d'un dépôt sur des surfaces refroidies. Dans cette application, pendant la période de mesure seulement, les surfaces de référence et d'essai sont refroidies au lieu d'être chauffées. L'environnement de fluide peut être un fluide géothermique chaud, de sorte que de la chaleur passe de l'environnement fluide aux surfaces d'essai et de référence qui sont refroidies.

Il faut noter que cette inversion du sens de circulation de la chaleur (pour une application à une surface refroidie) dans le pont thermique de la fig. 2 (en faisant de la case 18 un dissipateur thermique et de la case 28 une source de chaleur) ne modifie en rien les caractéristiques du pont thermique, pas plus que l'inversion de la tension d'un pont électrique ne modifie son principe de fonctionnement.

Bien entendu, diverses modifications peuvent être apportées par l'homme de l'art aux procédés et appareils qui ont été décrits à titre d'exemples nullement limitatifs sans sortir du cadre de l'invention.



REVENDICATIONS

- 1 - Procédé de contrôle de la tendance d'un environnement fluide à produire un dépôt sur une surface plongée dans cet environnement, procédé caractérisé en ce qu'il consiste essentiellement à soumettre une surface d'essai audit environnement
- 5 fluide, à soumettre une surface de référence et la surface d'essai à des environnements fluides avec des paramètres de circulation de chaleur dans une relation connue et à comparer les transferts de chaleur entre lesdites surfaces et leurs environnements fluides respectifs.
- 10 2 - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite opération de comparaison consiste à détecter la différence de température entre lesdites surfaces d'essai et de référence et appliquer auxdites surfaces des premier et second flux de chaleur réglés différentiellement de manière à diminuer
- 15 la variation de ladite différence de température avec la variation des environnements fluides auxquels lesdites surfaces d'essai et de référence sont soumises.
- 3 - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il consiste également à placer lesdites surfaces dans une relation
- 20 prédéterminée de caractéristiques thermiques avant de les soumettre audit environnement de fluide, ladite opération de comparaison consistant à comparer des caractéristiques thermiques desdites surfaces afin de déterminer si la caractéristique thermique de ladite surface d'essai a changé en raison d'un dépôt
- 25 formé sur elle par ledit premier environnement fluide.
- 4 - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il consiste également à régler différentiellement les flux thermiques appliqués auxdites surfaces d'essai et de référence de manière à diminuer les variations de la comparaison de température avec les variations des environnements fluides auxquels
- 30 lesdites surfaces sont soumises.
- 5 - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite opération de comparaison consiste à appliquer des flux thermiques différents auxdites surfaces d'essai et de référence
- 35 pour maintenir des températures égales de ces surfaces, et à comparer les flux thermiques respectifs appliqués auxdites surfaces.

6 - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il consiste également à appliquer un premier flux thermique à ladite surface d'essai pendant ladite première opération afin d'augmenter la tendance de dépôt et à appliquer des seconds  
5 flux thermiques auxdites surfaces d'essai et de référence pendant l'opération de comparaison.

7 - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il consiste également à modifier les conditions de formation de dépôt à la surface de contact entre ladite surface d'essai  
10 et ledit environnement fluide de manière à changer la vitesse de formation d'un dépôt sur ladite surface d'essai, cette opération étant effectuée avant ladite opération de comparaison.

8 - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il consiste également à produire des entrées de chaleur sur  
15 lesdites première et seconde surfaces, réglées relativement pour déséquilibrer la différence de température entre lesdites surfaces dans un sens qui diminue la sensibilité aux variations de l'environnement fluide.

9 - Procédé de contrôle de l'accumulation d'un dépôt sur  
20 une surface exposée à un fluide qui peut produire un dépôt, procédé caractérisé en ce qu'il consiste à exposer ladite surface et une surface de référence à un fluide commun et à comparer le transfert de chaleur entre ledit fluide commun et chacune desdites surfaces.

25 10 - Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce qu'il consiste également à chauffer différentiellement lesdites surfaces pour compenser les différences de caractéristiques de transfert thermique quand lesdites surfaces sont dans des conditions similaires d'accumulation de dépôt.

30 11 - Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce qu'il consiste également à compenser ladite comparaison de transfert de chaleur en fonction des variations de caractéristiques de transfert de chaleur dudit fluide commun.

35 12 - Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce qu'il consiste également à commander ledit fluide commun en fonction des variations de ces caractéristiques de transfert de chaleur, de manière à diminuer lesdites variations.

40 13 - Pont thermique destiné à indiquer des caractéristiques de transfert de chaleur d'un premier élément transmettant la chaleur exposé à un environnement fluide, pont caractérisé en ce

qu'il comporte un élément de référence transmettant la chaleur, un dispositif de chauffage destiné à transmettre de la chaleur audit premier élément et audit second élément, dans une relation prédéterminée, un dispositif d'exposition desdits éléments à  
5 des premier et second environnements fluides avec des caractéristiques de transfert de chaleur dans une relation connue, et un dispositif indiquant les températures relatives desdits éléments dans lesdits premier et second environnements fluides.

14 - Pont thermique destiné à indiquer des caractéristiques  
10 de transfert de chaleur d'un premier élément transmettant la chaleur exposé à un environnement fluide, pont caractérisé en ce qu'il comporte un élément de référence transmettant la chaleur, un dispositif de chauffage destiné à transmettre de la chaleur audit premier élément et audit second élément de référence dans  
15 une relation prédéterminée, un dispositif d'exposition desdits éléments respectivement à des premier et second environnements fluides avec des caractéristiques de transfert de chaleur dans une relation connue, et un dispositif indiquant la chaleur relative transférée par lesdits éléments respectivement auxdits pre-  
20 mier et second environnements fluides.

15 - Sonde de détection de dépôt, sensible thermiquement, caractérisée en ce qu'elle comporte une cartouche allongée dans laquelle sont montés des premier et second éléments radiateurs dans des première et seconde régions espacées axialement le long  
25 de ladite cartouche, un premier manchon entourant ladite cartouche en contact thermique étroit avec ladite première région, un second manchon entourant ladite cartouche en contact thermique étroit avec ladite seconde région, une gaine allongée entourant ladite cartouche et lesdits manchons, en contact ther-  
30 mique étroit avec lesdits manchons et des premier et second dispositifs de détection de température fixés entre ladite gaine et lesdits premier et second manchons respectivement.

16 - Sonde de détection de dépôt destinée à être plongée dans un environnement fluide dont la tendance au dépôt doit être me-  
35 surée, sonde caractérisée en ce qu'elle comporte des première et seconde surfaces de mesure, un dispositif de chauffage desdites surfaces et un dispositif de mesure de la température desdites surfaces de manière à produire un signal de mesure.

17 - Sonde selon la revendication 16, caractérisée en ce  
40 que ledit dispositif de chauffage comporte un dispositif qui

produit un chauffage relatif desdites surfaces dans une relation prédéterminée tendant à diminuer la différence entre lesdites températures en fonction des variations dudit environnement fluide.

5        18 - Sonde selon la revendication 17, caractérisée en ce qu'elle comporte un dispositif destiné à compenser ledit signal de mesure en fonction des variations dudit environnement fluide quand lesdites surfaces sont dans des conditions identiques.

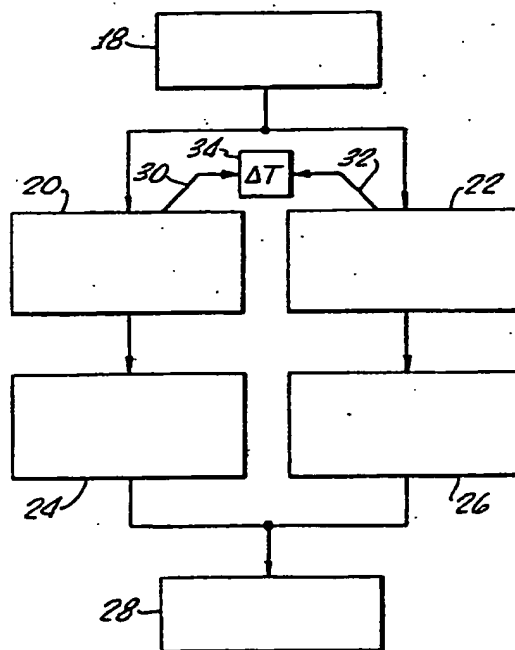
10       19 - Sonde selon la revendication 18, caractérisée en ce qu'elle comporte un dispositif destiné à compenser ledit signal de mesure en fonction des variations dudit environnement fluide quand lesdites surfaces sont dans des conditions différentes.

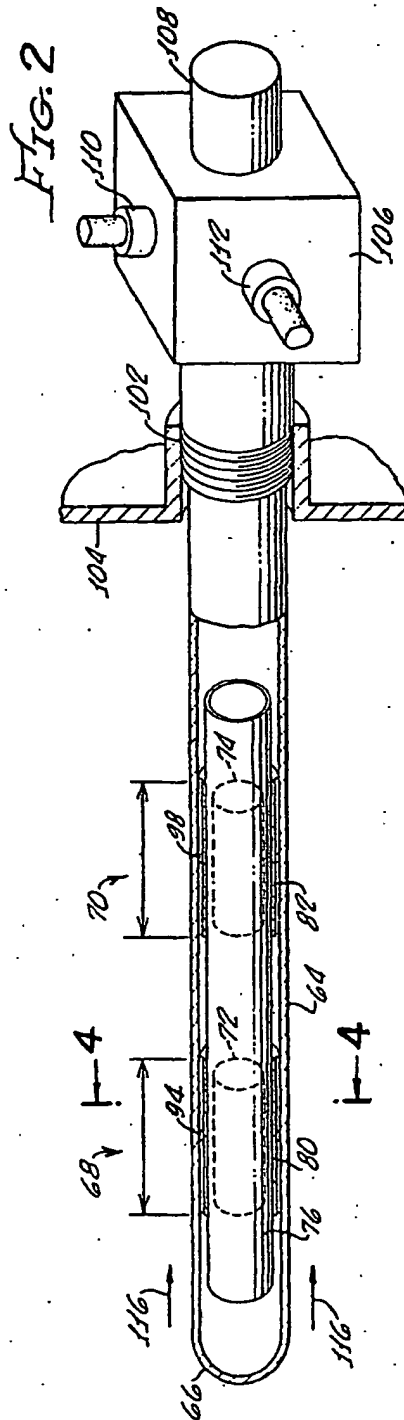
15       20 - Sonde selon la revendication 16, caractérisée en ce qu'elle comporte un dispositif sensible audit environnement fluide et destiné à compenser ledit signal de mesure en fonction d'une caractéristique dudit environnement.

20       21 - Sonde thermique destinée à être plongée dans un environnement fluide pour en détecter la tendance à la formation d'un dépôt, sonde caractérisée en ce qu'elle comporte des surfaces d'essai et de référence, des radiateurs d'essai et de référence disposés respectivement près desdites surfaces d'essai et de référence, et un dispositif de mesure différentielle de la température auxdites surfaces d'essai et de référence.

25       22 - Sonde selon la revendication 21, caractérisée en ce qu'elle comporte un dispositif destiné à fournir la puissance de chauffage auxdits radiateurs, et un dispositif produisant une différence de puissance de chauffage appliquée auxdits radiateurs pour compenser les différences de caractéristiques thermiques du circuit de chaleur comprenant ladite surface de référence et son  
30       radiateur associé et des circuits de chaleur comprenant ladite surface d'essai et son radiateur associé.

FIG. 1





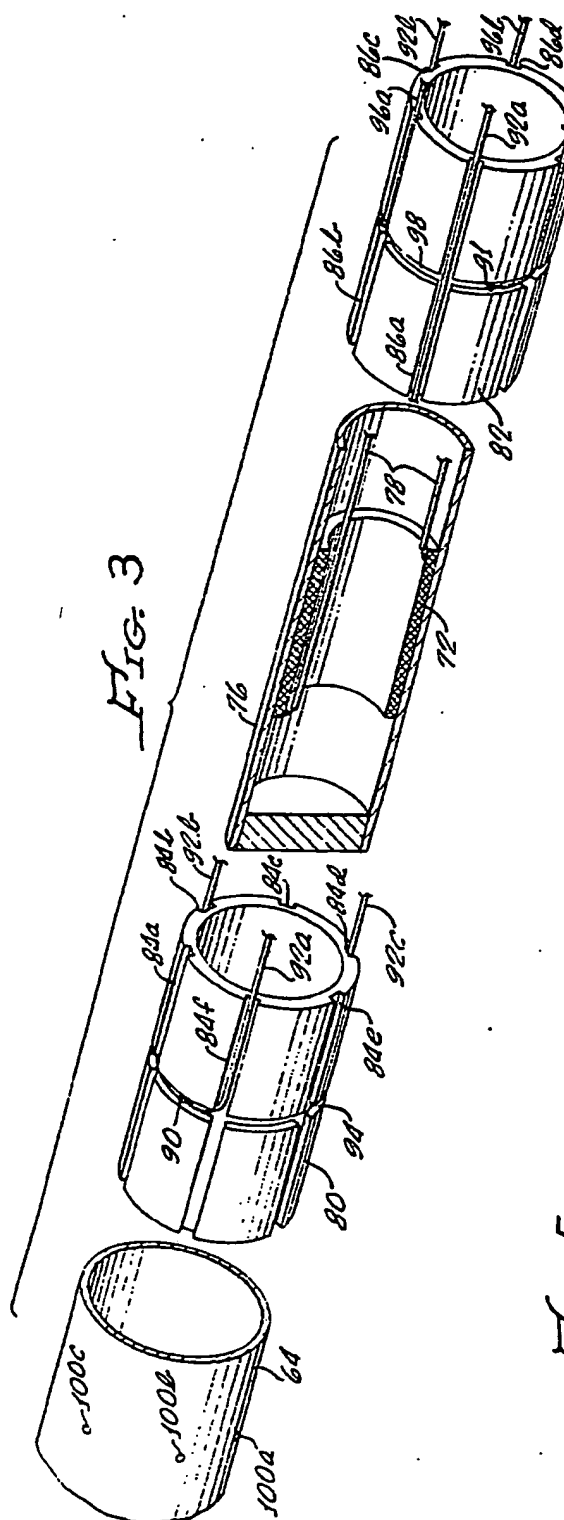


FIG. 3

FIG. 5

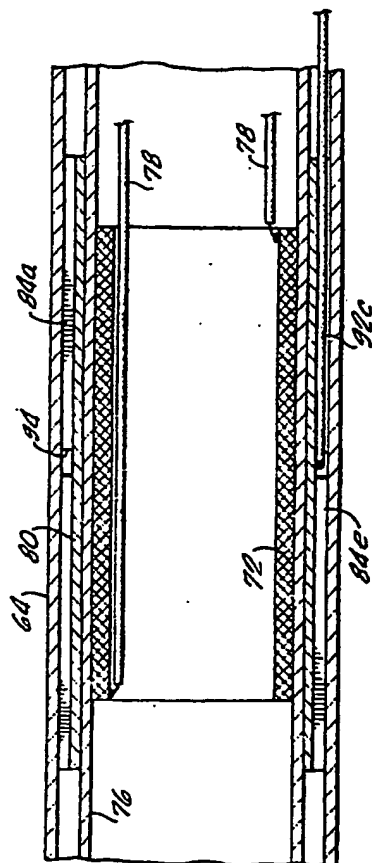
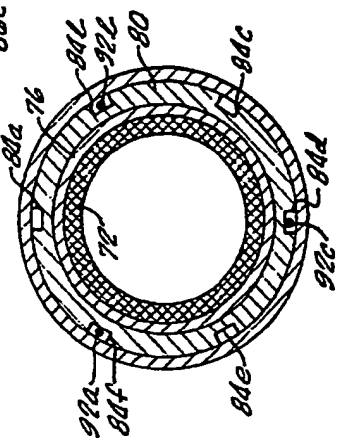


FIG. 4



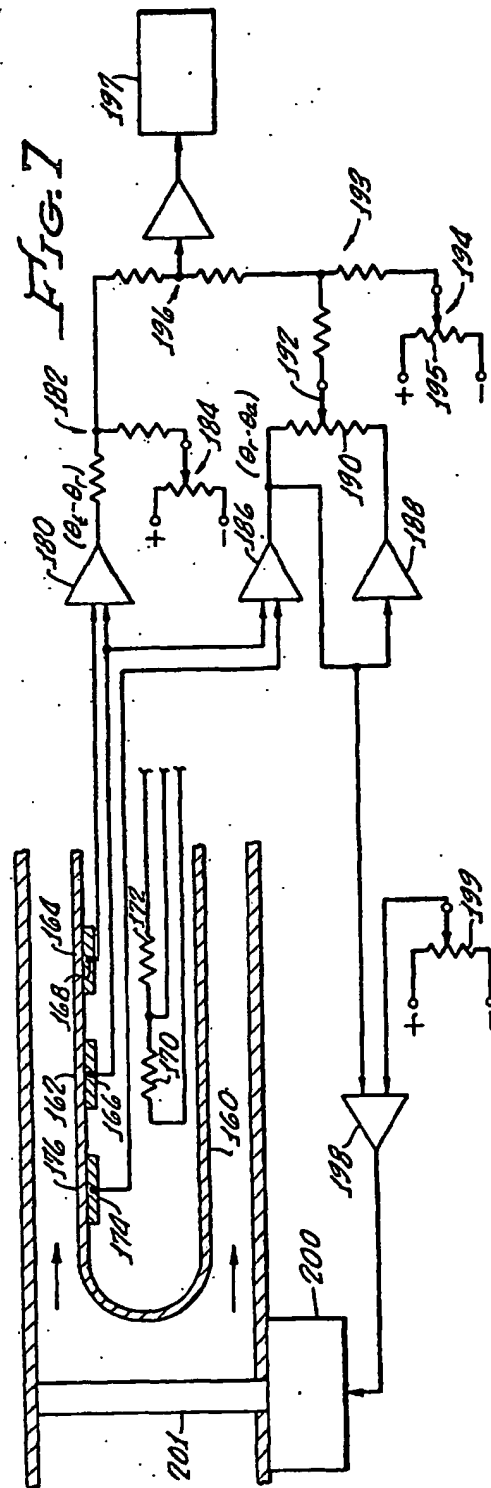
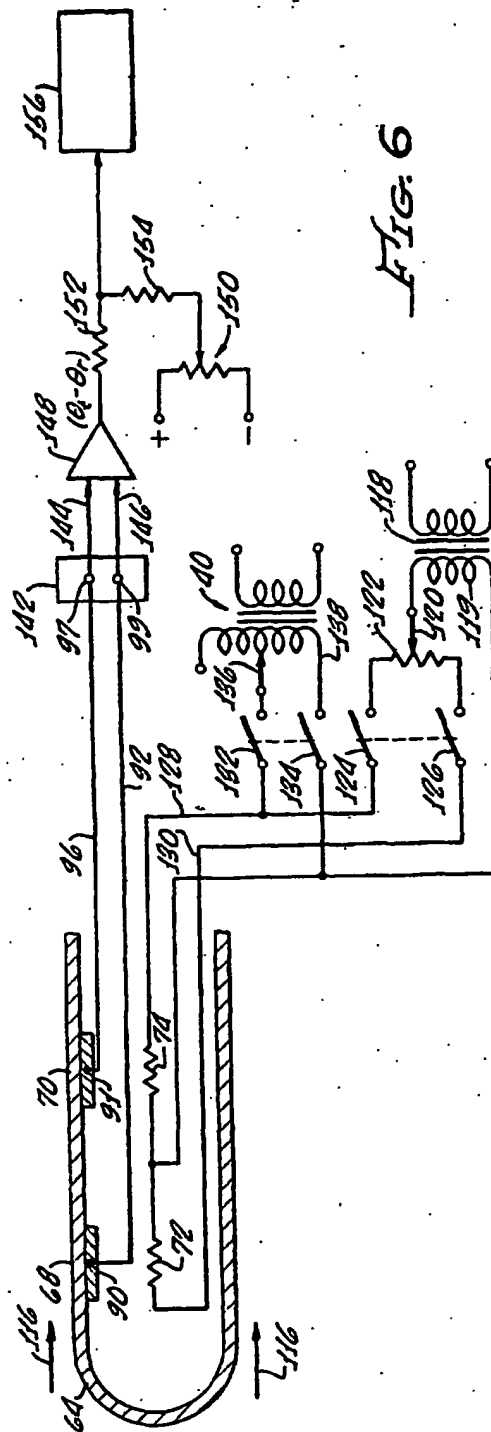




FIG. 8

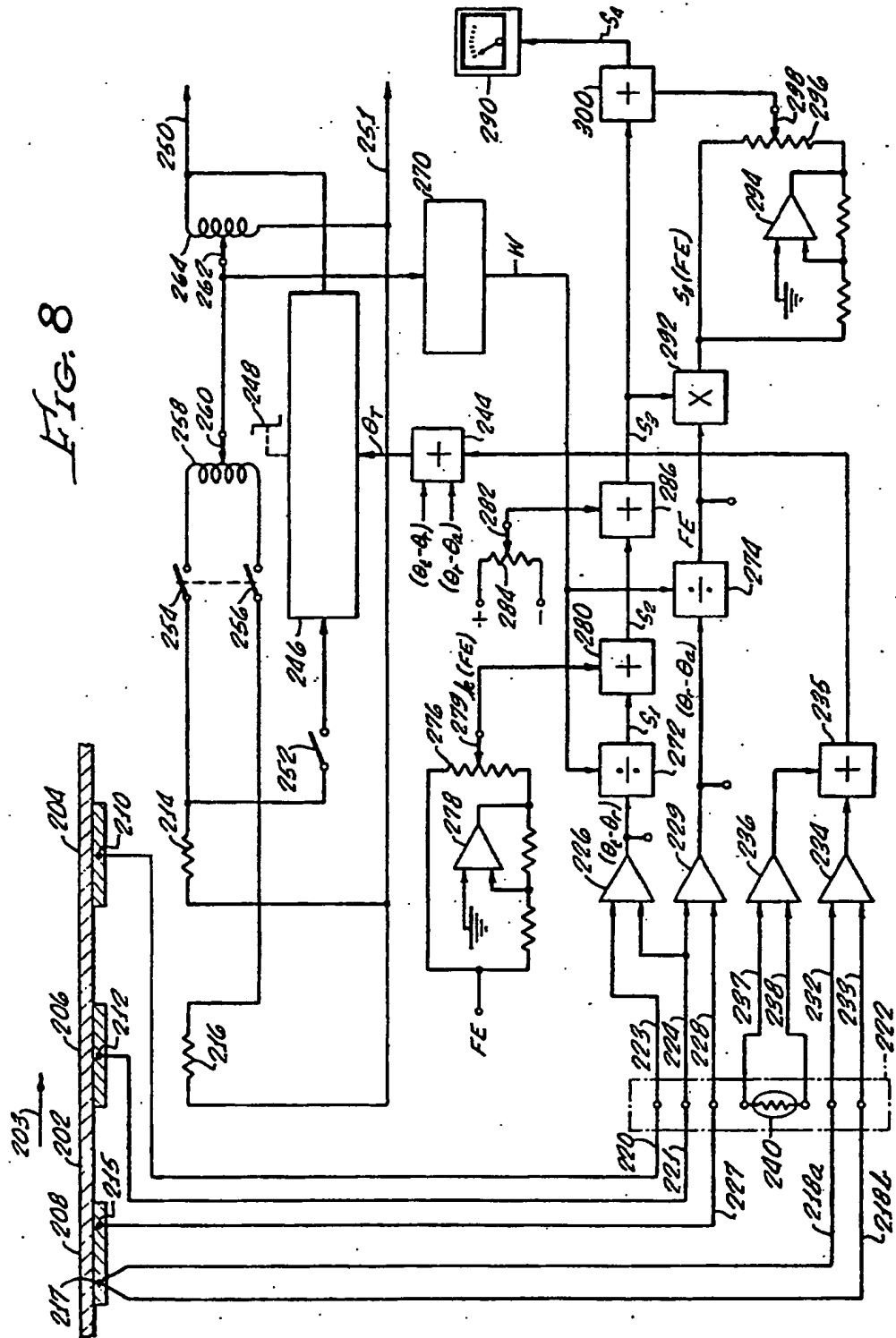


FIG. 9

